

К.М. Василів

**АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ АВТОНОМНОГО ГЕНЕРАТОРА  
З БЕЗКОНТАКТНИМ КАСКАДНИМ ТРИФАЗНИМ МОДУЛЬОВАНИМ  
ЗБУДЖУВАЧЕМ ЗА СХЕМОЮ В ОДНУ ЗІРКУ І СПІЛЬНИМ З'ЄДНАННЯМ ФАЗ  
МОДУЛЯТОРА ПІД ЧАС РОБОТИ НА ВУЗОЛ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ**

*Методом математичного експерименту виконано дослідження електромагнітних і електромеханічних процесів, які відбуваються в автономній системі електроживлення на базі асинхронізованого генератора з трифазним модульованим збуджувачем. Проведено аналіз процесів на предмет роботоспридатності системи живлення під час її роботи на вузол асинхронних двигунів. Встановлено закономірності перебігу електромагнітних і електромеханічних процесів залежно від величини навантаження та параметрів системи керування комутатором.*

*Методом математического эксперимента выполнено исследование электромагнитных и электромеханических процессов, происходящих в автономной системе электропитания на базе асинхронизированного генератора с трехфазным модулированным возбудителем. Произведен анализ процессов на предмет работоспособности системы питания при ее работе на узел асинхронных двигателей. Установлено закономерности протекания электромагнитных и электромеханических процессов в зависимости от величины нагрузки и параметров системы управления коммутатором.*

**ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ**

Автономні системи електроживлення (АСЕЖ) на базі асинхронізованого генератора (АСГ) з безконтактним каскадним модульованим збуджувачем (БКМЗ) належать до перспективних бо вони характеризуються високим рівнем надійності в роботі і високим рівнем стабілізування частоти напруги генератора за умов змінної швидкості обертання ротора.

На сьогодні вже виконано дуже важливий обсяг робіт, пов'язаний з розробкою концепції систем електроживлення на базі АСГ з БКМЗ. Так, в [7] започатковано теоретичну концепцію генераторів стабільної частоти на базі АСГ з БКМЗ. Доведено, що стабілізування частоти напруги генератора на підставі явища модуляції напруги безконтактного збуджувача дає змогу отримати ідеальну якість напруги за критерієм гармонічного спектра напруги генератора завдяки живленню обмотки збудження струмом частоти ковзання, що в таких системах забезпечує стабільну швидкість обертання магнітного поля стосовно обмотки статора генератора, а це, своєю чергою, ідеально стабільну частоту напруги генератора.

Самоочевидним є те, що на підставі самих теоретичних засад принципово неможливо отримати достатньої з погляду практичних потреб інформації стосовно перебігу електромагнітних і електромеханічних процесів як в якісному, так, тим паче, в кількісному еквіваленті. Тому, для вивчення закономірностей перебігу електромагнітних і електромеханічних процесів, які відбуваються в таких системах, виконано великий обсяг робіт з розробки методів, математичних моделей та на їх підставі алгоритмів і програмних комплексів, які за допомогою сучасних інформаційних технологій дають змогу проводити всебічні дослідження з метою оптимізування параметрів структурних компонентів таких СЕЖ. (до цих компонентів належать: машини модулятора, сам асинхронізований генератор, комутатор циклоконверторного типу), а також параметри системи керування (СК) комутатором і параметри системи автоматичного керування (САК), зокрема, стабілізування амплітуди напруги асинхронізованого генератора. Ця масштабна робота відображена в низці наукових праць [1-6], серед яких [4], в якій найбільш повно систематизовано отримані результати.

Електромагнітні і електромеханічні процеси, які відбуваються в таких системах електроживлення належать до особливо складних з погляду характеру визначальних координат та їх функційних взаємозв'язків. Це зумовлено доволі складною будовою

цих систем електроживлення. Складність будови таких систем електроживлення в поєднанні зі складністю характеру перебігу електромагнітних і електромеханічних процесів, які відбуваються в цих системах, однозначно вказує на те, що безпосередня розробка систем живлення такого типу має ґрунтуватися на всебічних ретельних теоретичних та практичних наукових дослідженнях як стосовно схемних рішень силового електричного кола, так і стосовно закономірностей перебігу електромагнітних і електромеханічних процесів з врахуванням природи споживачів електроенергії. Результати одного з таких досліджень, яке стосується вивчення закономірностей перебігу електромагнітних і електромеханічних процесів та їх впливу на функціонування автономної системи електроживлення на базі асинхронізованого генератора з безконтактним каскадним модульованим збуджувачем (за схемою модулятора з спільним з'єднанням фазних гілок роторів машин модулятора) під час роботи генератора на вузол асинхронних двигунів і становлять предмет цієї статті.

**АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ**

Важливо зазначити, що результати досліджень, які тут подаються, ґрунтуються на результатах попередніх досліджень, які тісно пов'язані як з розробкою методів і математичних моделей АСЕЖ на базі АСГ з БКМЗ, так і (певною мірою) з результатами, отриманими з безпосереднього аналізу процесів, які відбуваються в цій же системі електроживлення під час її роботи на активно-індуктивне живлення [5, 6].

Перші математичні моделі піддослідної системи електроживлення, які відзначалися доволі високим рівнем адекватності (давали змогу моделювати динамічні електромагнітні і електромеханічні процеси) були опубліковані в [1, 2]. Характерною особливістю цих математичних моделей є те, що в них не передбачено наявності ротора генератора, що істотно обмежує їх можливість в плані дослідження перебігу електромагнітних і електромеханічних процесів системи. Безумовно, що такі обмеження становили істотний недолік математичних моделей. Тому, на наступному етапі були розроблені математичні моделі, які дають змогу моделювати динамічні електромагнітні та електромеханічні процеси з врахуванням наявності в моделі ротора генератора [3, 4].

© К.М. Василів

## ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

З теорії систем генерування на базі асинхронізованого генератора з БКМЗ [7] відомо, що ці системи можуть формуватися за низькою сімейств схем силового електричного кола, які однозначно мають принциповий вплив на характер перебігу електромагнітних і електромеханічних процесів. Очевидним також є те, що на перебіг процесів впливає вид навантаження (тобто тип споживачів) та їх режими роботи. Тому завдання дослідження таких систем загалом полягає в вивченні закономірностей перебігу електромагнітних і електромеханічних процесів для кожної з можливих схем силового електричного кола (модулятора, генератора і комутатора), а також для кожного з видів споживачів електроенергії їх параметрів та режимів роботи. В цьому контексті в [5, 6] проведено дослідження функціонування автономної системи електроживлення на базі асинхронізованого генератора з безконтактним каскадним модульованим збуджувачем за схемою в одну зірку і спільним та комбінованим, відповідно, з'єднанням фазних гілок машин модулятора під час роботи на активно-індуктивне навантаження. У [5, 6] показано, що схема силового електричного кола модулятора має істотний вплив на перебіг процесів, а значить на функційні можливості системи генерування загалом. Результати досліджень, отримані в цих двох публікаціях вказують на те, що більш стійку роботу систем забезпечує схема модулятора з комбінованим з'єднанням фазних гілок ротора машин модулятора.

Цілком логічним є запитання: чи матимуть місце аналогічні тенденції (а, якщо так, то яким чином вони проявлятимуться) під час роботи цієї ж СЕЖ на вузол асинхронних двигунів. Тому, в цій статті ставиться за мету отримати кваліфіковану і науково обгрунтовану відповідь на поставлене актуальне запитання. А отримаємо його шляхом аналізу електромагнітних і електромеханічних процесів, які відбуваються в автономній системі електроживлення на базі асинхронізованого генератора з безконтактним каскадним модульованим збуджувачем за схемою модулятора в одну зірку під час роботи системи електроживлення на вузол асинхронних двигунів.

Таким чином, на підставі викладеного вище, констатуємо, що задача дослідження в цій статті полягає в аналізі електромагнітних і електромеханічних процесів автономної системи електроживлення на базі асинхронізованого генератора з трифазно-трифазним безконтактним каскадним модульованим збуджувачем зі спільним з'єднанням фаз модулятора за схемою генератора в одну зірку під час роботи системи електроживлення на вузол асинхронних двигунів.

## ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Отже, враховуючи те, що об'єктом аналізу процесів системи електроживлення на базі асинхронізованого генератора з трифазним безконтактним каскадним модульованим збуджувачем є АСЕЖ за схемою зі спільним з'єднанням фаз роторів машин модулятора, схема силового електричного кола піддослідної системи електроживлення має вигляд, зображений на рисунку 1. З цього рисунку видно, що структурними елементами схеми слугують: дві асинхронні машини АМ1 та АМ2; два джерела живлення цих машин Е1 та Е2 відповідно; безпосередній тиристорний перетворювач частоти (БТПЧ); генератор АГ, яким слугує асинхронна машина, фази обмотки ротора якої

з'єднані в зірку. До системи електроживлення також входять три споживачі (асинхронні двигуни): АД1, АД2, АД3. Ключі  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  призначені для вмикання та відмикання асинхронних двигунів.

Решта позначень на схемі рис. 1 мають такий зміст. Літерами  $\varphi$ ,  $i$ ,  $E$  позначено: потенціали, струми та електрорушійні сили. Літерами  $F$ ,  $G$ ,  $D$  в нижніх індексах відповідно позначено належність координат до модулятора, генератора, та асинхронних двигунів. Літерами  $S$ ,  $R$  в нижніх індексах позначено належність відповідних величин до статора і ротора електричних машин. Цифрами в нижніх індексах позначені номери електричних гілок у межах кожного із структурних елементів, а цифрою "0" в нижньому індексі – вузли з нульовим потенціалом. Цифрами в круглих дужках (1) і т. д. у верхньому індексі позначено належність відповідних величин до АМ1, АМ2 та джерел живлення модулятора Е1 і Е2, а також асинхронних двигунів АД1, АД2, АД3.

Зі схеми силового електричного кола системи живлення рис. 1 видно, що кожна з фаз обмоток роторів АМ1 та АМ2 розділені на три гілки, які з боку виходу з АМ2 і входу до АМ1 з'єднані між собою послідовно з перехрещенням фаз. Саме таке сполучення АМ1 та АМ2 утворює функційний структурний елемент, який забезпечує модуляцію напруги і тому називається модулятором [7].

Суть дослідження полягає в розрахунку електромагнітних та електромеханічних процесів, результатом якого є отримання розрахункових функційних залежностей миттєвих значень всіх визначальних координат: струмів, потенціалів та напруг, а також швидкості обертання ротора генератора, машин модулятора. Важливу інформацію з погляду роботопридатності системи електроживлення мають також координати асинхронних двигунів: швидкості обертання, електромагнітні моменти, струми, а також активні потужності.

Дослідження автономній системі електроживлення проведемо для асинхронізованого генератора потужністю 100 кВт. Моделювання процесів виконаємо для режиму, в якому задане ковзання ротора генератора є постійним і таким, що відповідає синхронній швидкості, тобто дорівнює нулеві. На початковій стадії робочого циклу АСЕЖ вмикається рушій та виконується розгін ротора генератора. При досягненні швидкості обертання ротора близької до синхронної вмикається напруга живлення машин модулятора, тобто вмикається збудження. На наступній стадії робочого циклу системи виконується почергове вмикання трьох асинхронних двигунів АД1, АД2, АД3, а на останньому етапі виконується почергове відмикання в зворотній послідовності раніше ввікнених двигунів: АД3, АД2, АД1.

Для моделювання електромагнітних і електромеханічних процесів, які відбуваються в піддослідній системі електроживлення для заданого режиму робочого циклу споживачами підібрані три асинхронні двигуни потужністю по 8 кВт. Вважається також, що виконавчі механізми асинхронних двигунів мають ідентичні вентиляторні механічні характеристики. Зазначимо, що протягом цілого робочого циклу функціонують система автоматичного керування для стабілізування швидкості обертання ротора та система автоматичного стабілізування амплітуди фазних напруг асинхронізованого генератора.

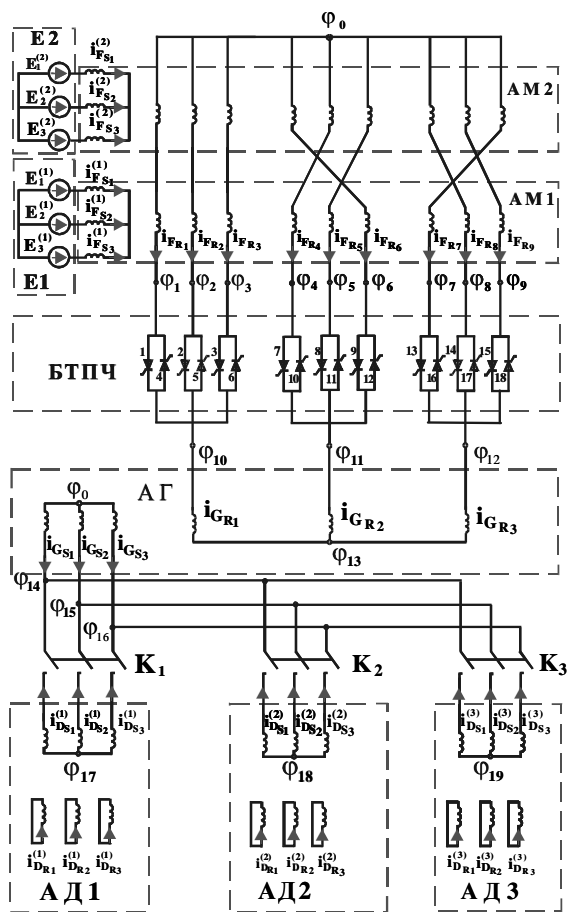


Рис. 1. Схема силового електричного кола АСЕЖ

Про якість електроенергії за найважливішими критеріями її оцінки (до яких окрім частоти віднесемо стабільність амплітуди напруги генератора), а також про роботоздатність системи генерування цього класу загалом можна робити висновки на підставі аналізу характеру розрахункових залежностей таких інтегральних координат як модулі зображувальних векторів (амплітуд) фазних напруг і струмів статора та модуля зображувального вектора струмів фаз ротора генератора  $u_{G_s}^v$ ,  $i_{G_s}^v$ ,  $i_{\mu}^v$ . Тому, аналіз електромагнітних і електромеханічних процесів розпочнемо саме з розгляду цих важливих координат. За результатами моделювання побудовані розрахункові залежності зазначених вище координат  $u_{G_s}^v$ ,  $i_{G_s}^v$ ,  $i_{\mu}^v$ , які зображені на рис. 2. Характер кривих цих координат відображає повний робочий цикл АСЕЖ за окремими його етапами. На першому етапі (за час від  $t = 0$  до  $t = 3$  с) рушій розкручує ротор генератора до синхронної швидкості. В момент часу  $t = 3$  с вмикається збудження. Тому, на наступному відтинку спостерігається поява і зростання струму збудження (струму в обмотках ротора генератора) і, як наслідок, поява та зростання напруги статора генератора. Генератор працює в режимі неробочого ходу на проміжку від  $t = 3$  до  $t = 5$  с. До моменту часу  $t = 5$  с амплітуди фазних напруг досягли заданого значення, яке дорівнює 311 В. Починаючи з моменту часу  $t = 5$  с, щосекунди вмикаються асинхронні двигуни в такій послідовності: АД1, АД2, АД3. На проміжку часу від  $t = 7$  до  $t = 9$  с генератор працює на всі три споживачі. А, починаючи з  $t = 9$  с, двигуни відмикаються в зворотній до увімкнення послідовності: АД3, АД2, АД1.

З форми кривої модуля зображувального вектора фазної напруги статора генератора видно, що амплітуда напруги є стабільною, а в області перехідних процесів, спричинених увімкненням та відмиканням асинхронних двигунів, перебуває в допустимих стандартами межах відхилення від заданого значення. З рис. 2 також видно, що система автоматичного керування виконує свою функцію стабілізації амплітуди напруги статора генератора, а інші координати (струми та напруги) відображають поведінку системи в межах повного робочого циклу (неробочого ходу, почергового вмикання асинхронних двигунів, їх роботи в режимі повного навантаження та почергового їх відмикання).

Вирішальну роль у забезпеченні необхідного характеру цих координат відіграє стійкість роботи комутатора. А це залежить від багатьох чинників, серед яких: параметри машин модулятора і генератора, параметри і алгоритм функціонування системи керування комутатором та системи автоматичного керування стабілізування визначених координат (тут амплітуди фазних напруг статора генератора), а також вид, параметри та режими роботи споживачів. Однозначно, що на стійкість роботи системи мають великий вплив схеми сполучення фаз ротора генератора, а також схеми сполучення машин модулятора, що і є предметом аналізу процесів цієї праці.

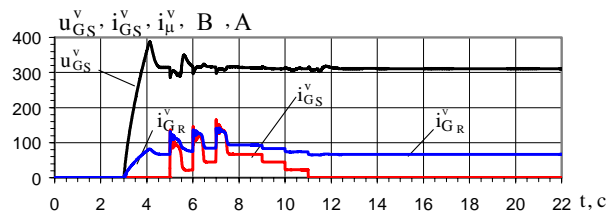


Рис. 2.  $u_{G_s}^v$ ,  $i_{G_s}^v$ ,  $i_{\mu}^v$  модулі зображувальних векторів фазних напруг і струмів статора та фазних струмів ротора генератора

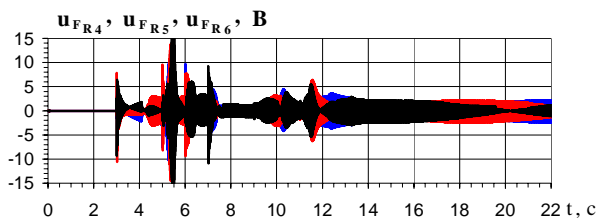
Важливу роль у функціонуванні системи збудження і АСЕЖ загалом відіграє перебіг електромагнітних процесів у модуляторі. Тому перейдемо до аналізу напруг та струмів модулятора.

На рис. 3 зображено розрахункові залежності від часу миттєвих значень спадів напруг та струмів середньої групи фазних гілок роторів машин модулятора. Рис. 3,а ілюструє миттєві значення спадів електричних напруг  $u_{F_{R_4}}$ ,  $u_{F_{R_5}}$ ,  $u_{F_{R_6}}$  на IV, V, VI послідовно з'єднаних фазних гілках роторів машин модулятора: Відповідно, на рис. 3,б зображені розрахункові залежності струмів  $i_{F_{R_4}}$ ,  $i_{F_{R_5}}$ ,  $i_{F_{R_6}}$  IV, V, VI фазних гілок роторів машин модулятора.

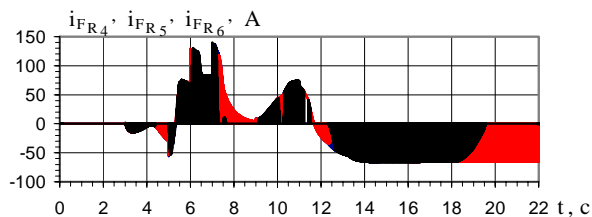
Криві на рис. 3 виразно відображають фізику процесів, внаслідок яких отримано електричні напруги модульованої форми частоти ковзання. Як бачимо з рис. 3, на проміжку часу, де ковзання дорівнює нулеві ( $S = 0$ ), спостерігаємо напруги без модуляції частотою заповнення  $f_3 = 150$  Гц. Оскільки фазні напруги зсувні між собою на  $120^\circ$ , а розгалужені фазні гілки роторів АМ1 та АМ2 для другої та третьої фазних груп сполучені між собою перехресно зі зсувом на  $120^\circ$  (див. схему рис. 1), то за частотою модуляції кожна з трьох трифазних систем напруг та струмів також зсувні між собою на кут  $120^\circ$ . Амплітуди напруг змінюються залежно від зміни електрорушійних сил джерел живлення, а ця, своєю чергою, таким чином, щоб підтримувати потрібне значення

струму збудження, адекватно реагуючи на величину навантаження генератора.

З рис. 3 видно, що криві напруг мають модульовану форму з частотою ковзання і частотою заповнення, значення якої залежить від швидкості обертання ротора генератора і співвідношення кількості пар полюсів машин модулятора [7].



а –  $u_{FR4}$ ,  $u_{FR5}$ ,  $u_{FR6}$  – миттєві напруги IV, V, VI фазних гілок роторів машин модулятора;



б –  $i_{FR4}$ ,  $i_{FR5}$ ,  $i_{FR6}$  – миттєві струми IV, V, VI фазних гілок роторів машин модулятора;

Рис. 3. Розрахункові залежності миттєвих значень напруг та струмів IV, V, VI фазних гілок роторів машин модулятора

З рис. 3 видно, що модулятор, згідно з теоретичним передбаченнями виконує свою функцію – утворення напруг модульованої форми, необхідних для формування циклоконвертером трифазної системи струмів частотою ковзання.

Структурні елементи АСЕЖ перебувають у стані взаємного зв'язку. Тому, будь-які збурення в одному з них неминуче відповідно впливають на процеси в усіх інших. У випадку цього режиму джерелом таких збурень слугує вмикання та відмикання асинхронних двигунів, що призводить до зміни швидкості обертання ротора генератора. Очевидно, що напруги та струми фазних гілок роторів машин модулятора також повинні реагувати на ці збурення. З візуального аналізу форми кривих напруг та струмів, зображених на рис. 3 виразно видно, що криві цих напруг зазнають істотного деформування яке, спричинено перехідними процесами, які, своєю чергою, виникли внаслідок вмикнення та відмикнення навантаження.

Визначальний вплив на перебіг процесів у таких системах та їх функціонування загалом мають процеси в обмотці збудження генератора. Тому, інформація про характер електричних струмів та напруг у обмотці ротора генератора має принципово важливе значення. Проаналізуємо розрахункові залежності фазних напруг та струмів ротора генератора, які зображені на рис. 4 та 5 відповідно. З рис. 4 видно, що характер фазних напруг ротора генератора відображає закономірності електромагнітних процесів, які відбуваються в модуляторі. В наслідок роботи комутатора в обмотці ротора генератора формується трифазна система напруг частоти ковзання. На дільницях постійної швидкості обертання ротора генератора частота напруг дорівнює нулеві, тобто маємо випрямлену постійну напругу. Зміна амплітуди напруги на дільни-

цях, де вона змінна і значення напруги на дільницях, де вона постійна, визначається зміною амплітуд модульованих напруг на виході модулятора (див. рис. 3).

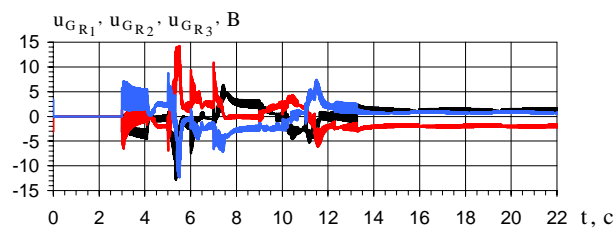


Рис. 4.  $u_{GR1}$ ,  $u_{GR2}$ ,  $u_{GR3}$  – фазні напруги ротора АГ

Фазні напруги ротора генератора частоти ковзання дають підставу на сподівання отримати фазні струми ротора генератора аналогічної форми. На рис. 5 зображені розрахункові залежності від часу фазних струмів ротора генератора. Характер кривих цих струмів вказує на те, що безконтактна система збудження на базі каскадного модулятора дає змогу отримати струм збудження генератора частоти ковзання, що, своєю чергою, забезпечує постійну швидкість обертання магнітного поля генератора стосовно обмотки статора, а значить і постійну частоту напруги генератора не залежно від частоти обертання ротора генератора. Водночас, форма кривих на цьому рисунку виразно вказує на те, що модульований перетворювач частоти дає змогу отримати високоякісні струми збудження, що слугує необхідною передумовою для отримання високоякісної напруги генератора за критерієм гармонічного спектра.

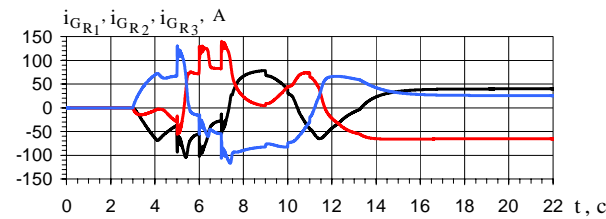


Рис. 5.  $i_{GR1}$ ,  $i_{GR2}$ ,  $i_{GR3}$  – фазні струми ротора АГ

Для повноти інформації стосовно закономірностей перебігу електромагнітних і електромеханічних процесів системи електроживлення загалом розглянемо розрахункові залежності основних електромеханічних координат асинхронних двигунів.

На рис. 6 зображені такі розрахункові залежності трьох асинхронних двигунів: електромагнітних моментів (рис. 6,а), частот обертання роторів (рис. 6,б), зображувальних векторів струмів статорів (рис. 6,в) та активної потужності (рис. 6,г). Характер кривих цих функційних залежностей є очікуваним і в якісному, і в кількісному відношенні. Криві на рис. 6 переконливо вказують на те, що піддослідна система електроживлення забезпечує нормальну роботу споживачів, якими слугують три асинхронні двигуни.

З наведених вище результатів моделювання (рис. 2-6) видно, що всі розрахункові залежності є функційно пов'язані, що вказує на роботопридатність системи електроживлення принципово. Проте, для отримання достовірної інформації стосовно функційних можливостей цієї системи електроживлення необхідно провести широкомасштабні дослідження на предмет функційних можливостей системи для широкого діапазону навантажень, а також на предмет впливу на роботу системи таких важливих чинників, до яких



належать параметри системи керування комутатором і зокрема значення вставки за струмом. Спеціальні дослідження показали, що під час високих динамічних навантажень проявляються вади схеми модулятора зі спільним з'єднанням фазних гілок роторів його машин. Сутність цієї проблеми полягає в тому, що для такої схеми модулятора в межах кожної з трьох окремих трифазних груп можливими є контури, замкнені на фазні гілки машин модулятора через зустрічно направлені вентиля (див. рис. 1.). За певних обставин (високих динамічних навантажень і несприятливих параметрів системи керування) вентиля комутатора перекидуються і в утворених (практично короткозамкнених контурах) протікатимуть недопустимо великі струми, що безперечно негативно впливатиме на роботу як модулятора, так і системи генерування загалом. На рис. 7 зображені струми фазних гілок машин модулятора для щойно описаного випадку, коли вставка за струмом має значення  $h = 0,01$  А. Характер і значення струмів на рис. 7 вказують на те, що такий режим є аварійним, а для його уникнення необхідно запобігти утворенню короткозамкнених контурів. Очевидним є те, що одним з найефективніших способів вирішення цієї проблеми є зміна схеми силового електричного кола модулятора безконтактної системи збудження.

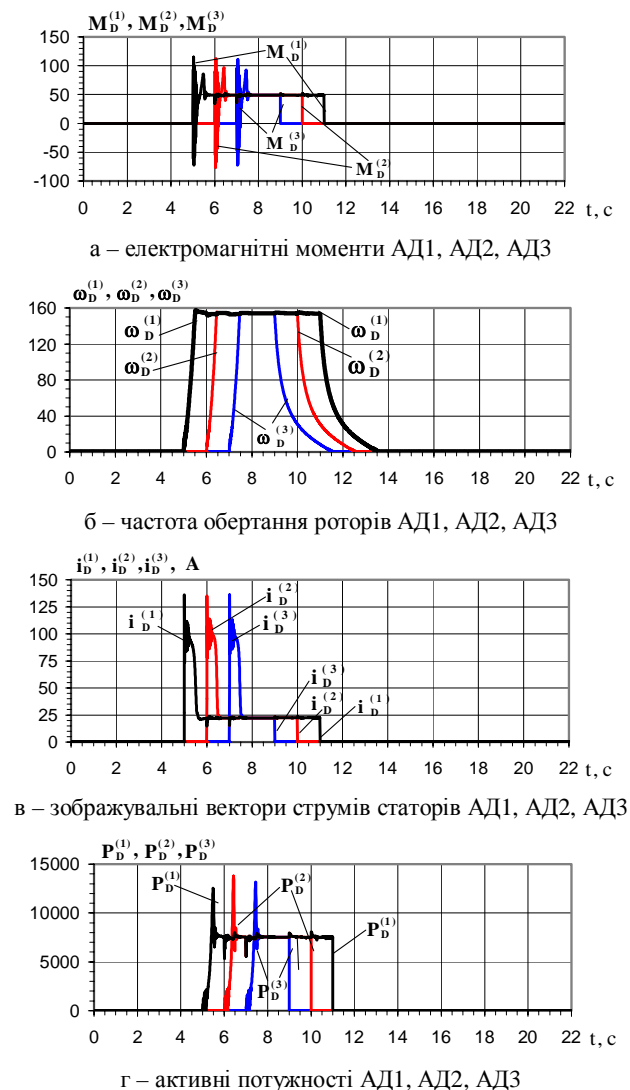
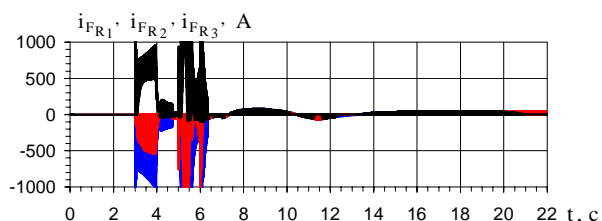
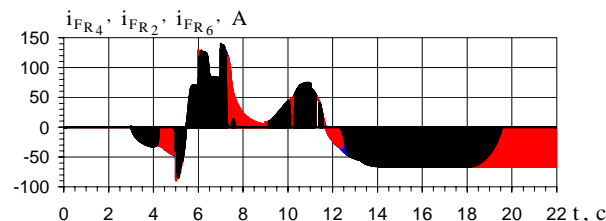


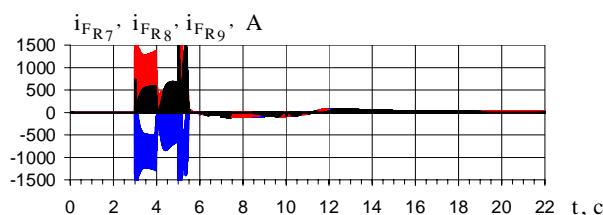
Рис. 6. Розрахункові залежності основних електромеханічних координат асинхронних двигунів



а – струми I, II, III фазних гілок ротора модулятора



б – струми IV, V, VI фазних гілок ротора модулятора



в – струми VII, VIII, IX фазних гілок ротора модулятора

Рис. 7. Розрахункові залежності фазних струмів ротора машин модулятора

Наведених вище результатів математичного моделювання автономної системи електроживлення на базі асинхронізованого генератора з трифазно-трифазним безконтактним каскадним модульованим збуджувачем за схемою силового електричного кола в одну зірку і спільним з'єднанням фазних гілок роторів машин модулятора цілком достатньо для формування висновків стосовно закономірностей перебігу електромеханічних і електромеханічних процесів, які відбуваються в цій системі електроживлення та її роботопридатності.

## ВИСНОВКИ

1. Аналіз електромеханічних та електромеханічних процесів, які відбуваються в автономній системі електроживлення на базі асинхронізованого генератора з трифазно-трифазним безконтактним каскадним модульованим збуджувачем за схемою генератора в одну зірку зі спільним з'єднанням фазних гілок роторних обмоток машин модулятора під час її роботи на вузол асинхронних двигунів, показує, що принципово ця система електроживлення є роботопридатною.

2. На стійкість роботи комутатора і системи живлення загалом істотний вплив мають параметри навантаження асинхронних двигунів. Збільшення механічного навантаження асинхронних двигунів понад критичне значення порушує стійкість роботи комутатора і систем електроживлення загалом.

3. Стійкість роботи АСЕЖ істотно залежить від такого важливого параметра системи керування комутатором як вставка за струмом. За результатами дослідження встановлено, що оптимальне значення вставки за струмом визначається діапазоном від  $h = 0,02$  А до  $h = 0,04$  А.

4. Критично порушує стійкість роботи АСЕЖ на базі АСГ з БКМЗ за схемою модулятора зі спільним

з'єднанням фазних гілок роторів машин модулятора перекидування вентилів комутатора. Це пояснюється тим, що за таких обставин у схемі силового електричного кола окремих трифазних груп роторів машин модулятора утворюються короткозамкнені контури, які замикаються через фазні гілки роторів машин модулятора та робочі (нормально відкриті) і неконтрольовано відкриті (перекинуті) вентиля циклоконвертора, оминаючи фазні гілки ротора генератора (див. рис. 1). Це призводить до зростання (щонайменше на порядок порівняно з номінальним значенням) струму у фазних контурах роторів машин модулятора, що є недопустимим, а також до дисбалансу фазних струмів ротора генератора і, як наслідок, коливання магнітного потоку (зменшення його середнього значення), що негативно впливає на стабільність амплітуди напруги генератора.

5. Алгоритмом функціонування системи керування комутатором на одному з етапів роботи вентилів загалом передбачено відкриття вентилів у інверторному режимі, що істотно збільшує ймовірність перекидування вентилів. Висока ймовірність перекидування вентилів комутатора і виникнення коротких замикань у контурах роторів машин модулятора критично знижує рівень надійності функціонування автономних систем електроживлення за схемою генератора в одну зірку і спільним з'єднанням фазних гілок роторів машин модулятора.

Тому, на підставі наведених результатів аналізу закономірностей перебігу електромагнітних і електромеханічних процесів, які відбуваються в автономній системі електроживлення на базі асинхронізованого генератора за схемою в одну зірку і спільним з'єднанням фазних гілок роторів машин модулятора логічним є висновок про недоцільність застосування на практиці таких схем модулятора.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Василів К.М. Математична модель динамічних процесів автономної електроенергетичної системи на базі безконтактного асинхронізованого генератора з двофазно-трифазним каскадним модульованим збуджувачем / К.М. Василів // Технічна електродинаміка. – 2005. – № 2. – С. 54-60.
2. Василів К.М. Математична модель динамічних процесів автономної електроенергетичної системи на базі безконтактного асинхронізованого генератора з трифазно-трифазним каскадним модульованим збуджувачем / К.М. Василів // Технічна електродинаміка. – 2004. – № 5. – С. 50-55.
3. Василів К.М. Узагальнена математична модель автономної електроенергетичної системи на базі асинхронізованого генератора з безконтактним каскадним трифазно-трифазним модульованим збуджувачем за нульовою схемою / К.М. Василів // Електротехніка і електромеханіка. – 2009. – № 2. – С. 15-20.
4. Василів К.М. Методи і моделі аналізу процесів автономних систем електроживлення на базі асинхронізованого генератора з безконтактним каскадним модульованим збуджувачем: дис. доктора техн. наук: 05.09.03 / Василів Карл Миколайович. – К., 2010. – 398 с.
5. Василів К.М. Аналіз процесів автономного генератора з безконтактним каскадним трифазним модульованим збуджувачем за схемою в одну зірку і спільним з'єднанням фаз модулятора під час роботи на активно-індуктивне навантаження / К.М. Василів // Вісник НТУ "ХПІ". – 2012. – № 49. – С. 27-37.

6. Василів К.М. Порівняльний аналіз процесів автономного генератора з безконтактним каскадним трифазним модульованим збуджувачем за схемою в одну зірку під час роботи на активно-індуктивне навантаження / К.М. Василів // Електротехніка і електромеханіка. – 2013. – № 1. – С. 12-16.
7. Галиновский А.М. Бесконтактный асинхронизированный генератор с модулированным преобразователем частоты / Галиновский А.М. // Труды I Международной (III Всероссийской) конференции по Электромехатронике. – Санкт-Петербургский гос. электротехн. ун-т. – 1997. – С. 182-192.

**Bibliography (transliterated):** 1. Vasiliv K.M. Matematichna model' dinamichnih procesiv avtonomnoi elektroenergetichnoi sistemi na bazi bezkontaktnogo asinhronizovanogo generatora z dvofazno-trifaznim kaskadnim modul'ovanim zbudzhuvachem / K.M. Vasiliv // Tehnichna elektrodinamika. - 2005. - № 2. - S. 54-60. 2. Vasiliv K.M. Matematichna model' dinamichnih procesiv avtonomnoi elektroenergetichnoi sistemi na bazi bezkontaktnogo asinhronizovanogo generatora z trifazno-trifaznim kaskadnim modul'ovanim zbudzhuvachem / K.M. Vasiliv // Tehnichna elektrodinamika. - 2004. - № 5. - S. 50-55. 3. Vasiliv K.M. Uzagal'nena matematichna model' avtonomnoi elektroenergetichnoi sistemi na bazi asinhronizovanogo generatora z bezkontaktnim kaskadnim trifaznim modul'ovanim zbudzhuvachem za nul'ovoyu shemoyu / K.M. Vasiliv // Elektrotehnika i elektromehaniika. - 2009. - № 2. - S. 15-20. 4. Vasiliv K.M. Metodi i modeli analizu procesiv avtonomnih sistem elektrozhlivlennya na bazi asinhronizovanogo generatora z bezkontaktnim kaskadnim modul'ovanim zbudzhuvachem: dis. doktora tehn. nauk: 05.09.03 / Vasiliv Karl Mikolajovich. - K., 2010. - 398 s. 5. Vasiliv K.M. Analiz procesiv avtonomnogo generatora z bezkontaktnim kaskadnim trifaznim modul'ovanim zbudzhuvachem za shemoyu v odnu zirku i spil'nim z'ednannjam faz modul'yatora pid chas roboti na aktivno-induktivne navantazhennya / K.M. Vasiliv // Visnik NTU "HPI". - 2012. - № 49. - S. 27-37. 6. Vasiliv K.M. Porivnyal'nij analiz procesiv avtonomnogo generatora z bezkontaktnim kaskadnim trifaznim modul'ovanim zbudzhuvachem za shemoyu v odnu zirku pid chas roboti na aktivno-induktivne navantazhennya / K.M. Vasiliv // Elektrotehnika i elektromehaniika. - 2013. - № 1. - S. 12-16. 7. Galinovskij A.M. Beskontaktnyj asinhronizirovannyj generator s modulirovannym preobrazovatelem chastoty / Galinovskij A.M. // Trudy I Mezhdunarodnoj (III Vserossijskoj) konferencii po 'Elektromehanotronike. - Sankt-Peterburgskij gos. 'elektrotehn. un-t. - 1997. - S. 182-192.

Надійшла 02.03.2013

*Василів Карл Миколайович, д.т.н.*  
Львівський національний аграрний університет  
кафедра електротехнічних систем  
79049, Львів, вул. Коломийська, 4, кв. 140  
тел. (0322) 226403, (097) 2453821  
e-mail: karl.vasyliv@gmail.com

*Vasylyv K.M.*

**Analysis of processes in an independent generator with a noncontact cascade three-phase modulated exciter via a star-connected circuit with a common modulator phase connection under operation to an induction motors site.**

By means of a mathematical experiment, electromagnetic and electromechanical processes in an independent electric power supply system based on an asynchronous generator with a three-phase modulated exciter are investigated. The processes are analyzed to specify the working capacity of the power supply system during its operation to an induction motors site. Regularities of the electromagnetic and electromechanical processes behavior versus load intensity and the switch control system parameters are identified.

**Key words – asynchronous generator, noncontact modulated exciter, independent power supply system, commutator, induction motor, electromagnetic and electromechanical processes, mathematical experiment.**